Über

Emission und Absorption des Kohlelichtbogens.

Inaugural-Dissertation

zur

Erlangung der Doktorwürde

der

hohen philosophischen Fakultät der Universität Rostock

ACAD. LAND. BAT. BIBL.

vorgelegt

von

Martin Rosenmüller

aus **Dresden** i. S.

Rostock.

Rats- und Universitäts-Buchdruckerei von Adlers Erben, G. m. b. H.

1909.

Referent: Prof. Dr. Heydweiller.

Meinen lieben Eltern

in Dankbarkeit gewidmet.

Digitized by the Internet Archive
in 2026

https://archive.org/details/IA41551526_0149

Einleitung.

Die Frage nach der Art der Strahlung des Lichtbogens, insbesondere ob ein wesentlicher Teil derselben Temperaturstrahlung sei oder nicht, ist bisher nur vereinzelt qualitativ behandelt worden, so von den Herren Liveing und Dewar[1]), Violle[2]), Kayser[3]), Paschen[4]) und R. Lindemann[5]). Zur Lösung dieser Frage ist eine quantitative Untersuchung der Bogenstrahlung bezüglich ihrer Emission und Absorption erforderlich, auf deren Wichtigkeit u. a. Herr Kayser[6]) hingewiesen hat, indem er zugleich die großen, indessen wohl überwindlichen Schwierigkeiten dieser Versuche betont.

Bezüglich der Absorption im Lichtbogen liegen für das sichtbare Gebiet einige aus rein qualitativen

---

[1]) Liveing und Dewar: „Note on the reversal of the spectrum of cyanogen." Proc. Roy. Soc. 33, p. 3—4, 1881. „On the circumstances producing the reversal of spectral lines of metals." Cambr. Proc. 4, 5, p. 256—265, 1882. „Investigation on the spectrum of magnesium." Proc. Roy. Soc. 44, p. 241—252, 1888.

[2]) Violle: „Sur la température de l'arc éléctrique". C. R. 119, p. 949—950, 1894.

[3]) Kayser: Handbuch der Spektroskopie, Bd. II, p. 169, 1902.

[4]) Paschen: „Notiz über die Gültigkeit des Kirchhoffschen Gesetzes von der Emission." Wied. Ann., Bd. 51, p. 41—43, 1894.

[5]) R. Lindemann: „Über lichtelektrische Photometrie . . ." Ann. d. Phys., Bd. 19, p. 807 . . ., 1906.

[6]) Kayser: Handbuch der Spektroskopie, Bd. II, p. 170.

Versuchen gezogene Folgerungen von Mrs. Ayrton[1]) vor, sodann noch ein quantitativer Vorversuch von Herrn R. Lindemann[2]), der das Absorptionsvermögen des Bogens für das gesamte äußerste Ultraviolett liefert, da diese Messungen auf der lichtelektrischen Wirkung der gesamten Bogenstrahlung beruhen, welche, wie schon Hertz[3]) erwähnte und Herr Erich Ladenburg[4]) im einzelnen quantitativ zeigte, dem Hauptbetrag nach durch das äußerste Ultraviolett ausgelöst wird.

Über die Emission sind einige Untersuchungen[5]) vorhanden, die aber insofern unvollständig sind und keinen Rückschluß auf die wirklichen Intensitätsverhältnisse der Strahlung gestatten, als die Absorption im Apparat nicht berücksichtigt ist. Der Grund, daß nur so verhältnismäßig wenig quantitative Untersuchungen in dieser Richtung gemacht worden sind, liegt wohl an der Inkonstanz der Bogenstrahlung. Nachdem inzwischen ein ruhigeres Brennen des Bogens erzielt worden ist[6]), kann man mit Aussicht auf Erfolg an die Untersuchungen der Absorption

---

[1]) Mrs. Ayrton: „The electric arc" by Mrs. Ayrton. London, The electrician printing and publishing Company, Limited.

[2]) R. Lindemann: Ann. d. Phys., Bd. 19, p. 837, 1906.

[3]) Hertz: Wied. Ann. 31, p. 998, 1887.

[4]) Erich Ladenburg: „Über Anfangsgeschwindigkeit . . ." Phys. Z., p. 590—594, 1907.

[5]) Snow: „Über das ultrarote Emissionsspektrum der Alkalien." Wied. Ann., Bd. 47, p. 208, 1892. — Hagen und Rubens: „Über das Reflexionsvermögen . . ." Ann. d. Phys., Bd. 8, p. 1, 1902.

[6]) W. Hallwachs: Lichtelektrische Ermüdung und Photometrie." Phys. Z., 5. Jahrgang, Nr. 16, p. 490.

herangehen und damit verbinden eine Untersuchung der Emission unter Berücksichtigung der im Spektrometer auftretenden Lichtverluste, eine Arbeit, welche ich auf Anregung von Herrn Geheimrat Hallwachs unternommen habe. Die folgende Darstellung gliedert sich daher in 2 Teile, deren erster die Messungen des Intensitätsverlustes im Spektrometer gibt, der zweite die Bestimmung der Absorption und Emission der Hauptbanden des Kohlebogens.

I. Teil.

Bestimmung des Intensitätsverlustes im Spektralapparat in seiner Abhängigkeit von der Wellenlänge.

Für die vorliegenden Versuche kam ein Spektrometer mit Quarz-Flußspatoptik und eine Rubenssche Thermosäule in Verbindung mit einem Kugelpanzer-Galvanometer in Anwendung.

Der im Spektrometer auftretende Intensitätsverlust findet sich bei Speisung desselben mit Licht von bestimmten Wellenlängen, wenn die Strahlung einmal dicht hinter dem Spalt, das andere Mal im Beobachtungsrohr an der Stelle des Fadenkreuzes gemessen wird, durch Vergleichung beider Werte.

Bezeichnet man mit

a_1 den Galvanometerausschlag für die im Beobachtungsrohr anlangende Strahlung,

mit a_2 den für die in den Kollimator eintretende Strahlung bestimmter Wellenlänge,

so stellt der Quotient

$$\frac{a_1}{a_2} = k_\lambda$$

die durchgehende Strahlung als Bruchteil der gesamten für die Wellenlänge λ dar und

$$(1 - k_\lambda) \cdot 100 = a_\lambda$$

das Absorptionsvermögen.

Diese Größe a_λ gibt aber nicht das absolute Absorptionsvermögen an, sondern nur ein relatives. Denn der im Spektrometer auftretende Intensitätsverlust setzt sich aus einem geometrischen und einem optischen Anteil zusammen. Der erstere, welcher von den geometrischen Abmessungen der Anordnung in dreifacher Weise, nämlich durch den Öffnungskegel des ankommenden Lichtbüschels, ferner durch die Öffnung des Kollimators und drittens durch die Entfernung der Thermosäule vom Spalt bedingt wird, ist mit einiger Genauigkeit kaum bestimmbar, jedoch für alle Wellenlängen bei unveränderter Zusammenstellung des Spektrometers der gleiche. Es empfiehlt sich daher, den geometrischen Verlust dadurch zu eliminieren, daß nur die Relativwerte der Absorptionen zu der einer Normalfarbe gebildet, und die Absorptionswerte alle auf diejenige der Normalfarbe als Einheit bezogen werden.

Bezeichnet k_N die durchgehende Strahlung als Bruchteil der gesamten für die Normalfarbe, so ergibt der Quotient

$$\frac{k_\lambda}{k_N}$$

das Durchdringungsvermögen des Spektrometers für die Wellenlänge λ bezogen auf die Normalfarbe als Einheit. Der reziproke Wert dieser Größe

$$\frac{k_N}{k_\lambda} = R$$

stellt dann den Reduktionsfaktor des Spektrometers dar, das heißt die Größe, mit welcher die Galvanometerausschläge a_1 zu multiplizieren sind, um die wirklichen Intensitätsverhältnisse der am Kollimator anlangenden Strahlung zu erhalten.

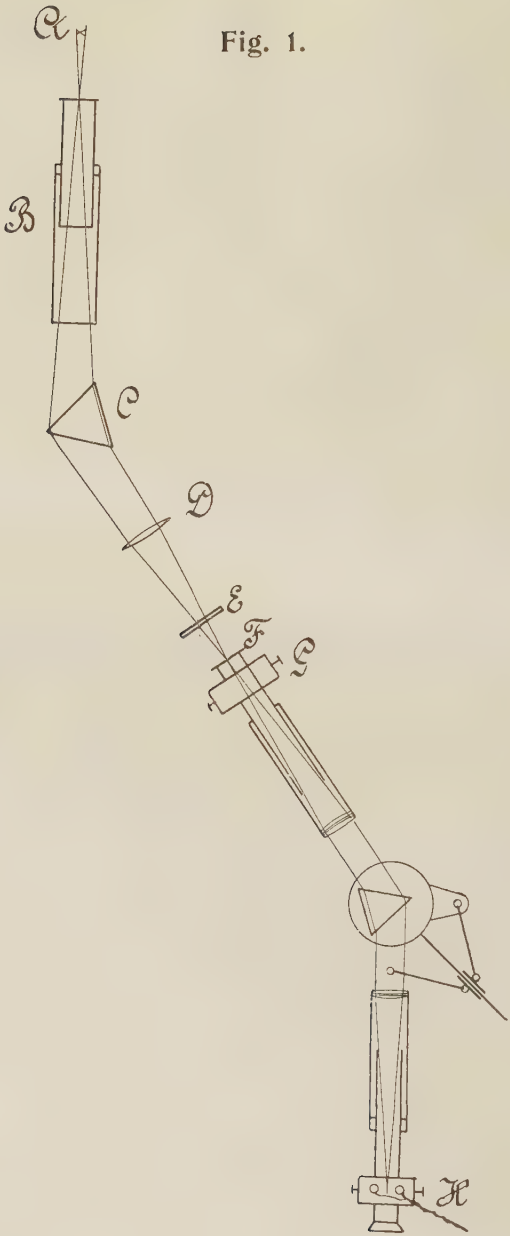
Einfluß der Spaltbreite auf die so gemessenen Absorptionen. In Rücksicht auf die geringen Energiemengen im Ultravioletten wurde der Spalt am Kollimator sowie vor dem Thermoelement 1 mm — 10 Bogenminuten — breit gewählt. Im Gebiet der kurzen Wellen ist eine so große Spaltbreite sehr gut angängig, da dort die Dispersion des Flußspates sehr groß ist, und daher das erzeugte Spektrum für den vorliegenden Zweck rein genug ist. Anders liegen die Verhältnisse im sichtbaren Teil des Spektrums: Während z. B. bei 206 $\mu\mu$ dem Spalt ein Bereich von etwa 6 $\mu\mu$ entspricht, schneidet derselbe bei 546 $\mu\mu$ ein Spektralgebiet von ca. 100 $\mu\mu$ aus. Eine Verringerung der Spaltbreite proportional der abnehmenden Dispersion jedoch ist nicht statthaft, da der geometrische Anteil der Absorption hierdurch verändert würde. Es mußte daher die Spaltbreite unverändert bleiben. Das zur Speisung des Spektrometers benutzte Licht rührt überdies nicht wie im Ultravioletten von isoliert liegenden Linien und Banden her, sondern wird aus einem größeren Bereich ausgeblendet. Im Beobachtungsrohr des Spektrometers entsteht daher ein kleines, sehr unreines Spektrum, dessen Gesamtenergie

durch schrittweises Durchführen der Thermosäule bestimmt werden muß, und zwar in Intervallen von 10 zu 10 Minuten, da der Spalt vor der Thermosäule eine solche Breite besitzt. An Stelle des einen Galvanometerausschlages a_1 tritt dann eine Summe von Ausschlägen. Durch Vorschalten von entsprechenden Gläsern wurden nach Möglichkeit die störenden Teile des Spektrums geschwächt. Für die violette Bande 415 $\mu\mu$ des Kohlebogens geschah dies durch einen mit Kupferoxydammoniak gefüllten Absorptionstrog. Die Messung nach dieser Methode ist aber nur dann erlaubt, wenn das Absorptionsvermögen des Apparates im untersuchten Spektralbereich nur wenig mit der Wellenlänge variiert.

Versuchsanordnung und Strahlengang.

Die Versuchsanordnung ist aus Fig. 1 ersichtlich. Mittels eines Hilfspektrometers, welches als Monochromator dient, wird auf dem Spalt des zu untersuchenden Spektrometers ein Bild der betreffenden Linie entworfen, und die Intensität der in den Kollimator eintretenden Strahlung dicht hinter dem Spalt, dann diejenige des im Beobachtungsrohr erzeugten Spaltbildes gemessen.

Fig. 1.



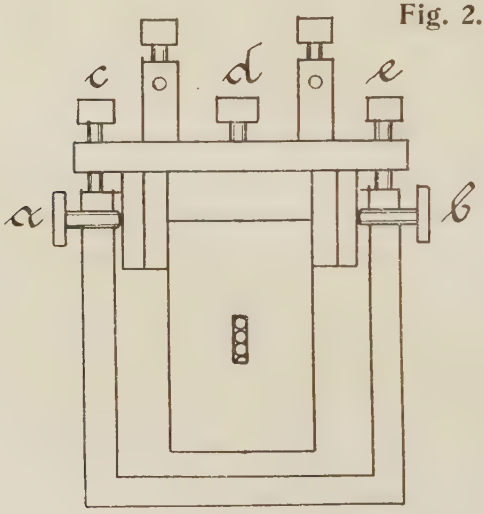
In Fig. 1 bedeutet A die Lichtquelle, B das Kollimatorrohr des Hilfsspektroskopes, C dessen Quarzprisma und D eine Sammellinse aus Quarz, welche das Bild der betreffenden Linie auf dem symmetrischen Spalt F des zu untersuchenden Spektrometers entwirft. Die von dem Bild ausgehenden Strahlen werden dann auf der Thermosäule H im Fernrohr an der Stelle des Fadenkreuzes vereinigt. Bevor die Strahlen in den Kollimator des Spektrometers eintreten, passieren sie ein Strahlenfilter E, dessen Zweck später erläutert wird.

Apparate. An Stelle des einfachen Hilfsspektroskopes mit Quarzlinse war zuerst ein solches mit Silberspiegeln benutzt worden, von dem man aber wieder trotz der vielen sonstigen Vorteile abkam, da die Lichtstärke der erzeugten Spaltbilder infolge des geringen Reflexionsvermögens von Silber für Ultraviolett [1]) zu schwach war. Das zu untersuchende Spektrometer ist mit Quarz-Flußspat-Achromaten von Zeiss von 24,5 cm Brennweite und 24 mm größter Öffnung ausgerüstet. Sein dispergierendes Flußspatprisma vom brechenden Winkel $60^0\ 1'\ 36''$ wurde automatisch in der Minimumstellung erhalten. Der Kollimator ist mit einem einfachen bilateral verschiebbaren Spalt versehen und ebenso wie das Beobachtungsrohr mit Messingkästen G und H, welche zur Aufnahme der Thermosäule dienen. Die letztere bestand aus 20 Elementen. Ihr innerer Widerstand beträgt ca. 4,5 Ω. Unmittelbar vor ihren temperaturempfindlichen Lötstellen befand

[1]) Hagen und Rubens: „Das Reflexionsvermögen einiger Metalle . . . .“ Z. f. Instr.-K. 1902, Heft 2, p. 52.

sich ein geschwärzter, einfacher bilateraler Hilfsspalt, der in der Höhe durch Blenden so abgedeckt werden konnte, daß nur die vom regulären Strahlengang getroffenen Lötstellen unbedeckt waren. Spalt und Thermosäule sind auf gemeinsamer mit Führungsleisten zum Einschieben in die Kästen des Kollimators und Fernrohrs versehener Messingplatte befestigt. Die nähere Einrichtung der letzteren geht aus Fig. 2 hervor.

Fig. 2.



Die mit a und b bezeichneten Schrauben gestatten die seitliche Verschiebung der Thermosäule parallel zum Fadenkreuz, während die drei Schrauben c, d, e die Höhe derselben festlegen. Mittels fluoreszierenden Okulars konnte die richtige Lage der Thermosäule kontrolliert und gegebenenfalls durch die Schrauben a und b berichtigt werden.

Als Galvanometer diente ein du-Bois-Rubenssches Kugelpanzer-Galvanometer von Siemens & Halske mit dem leichten Magnetsystem und 10,2 Ω innerem Widerstand. Die Empfindlichkeit betrug bei einem Skalenabstand von 2600 mm $1{,}9 \cdot 10^{-10}$ Amp. für 1 mm. Da sich die in der Nähe vorüberfahrende elektrische Straßenbahn in sehr empfindlicher Weise durch anhaltende, feine Erschütterungen des Mauerwerks geltend machte, mußte das Galvanometer nach der Methode von Julius aufgehängt werden. Zur besonderen Schwächung der Vertikalkomponente der erschütternden Kraft wurden in die drei Aufhängedrähte je eine etwa 20 cm lange Spiralfeder eingeordnet. Das Feststellen der Aufhängung zwecks Justierung des Galvanometers geschah in einfachster Weise durch Belastung derselben und bewährte sich sehr gut.

Das Galvanometer steht durch eine verdrillte in Watte gepackte Doppelleitung und einen ganz aus Kupfer gearbeiteten Stromwender mit der Thermosäule in Verbindung Der Gesamtwiderstand des Stromkreises beträgt etwa 15 Ohm.

Aufstellung und Justierung der Versuchsanordnung. Eine einwandfreie Bestimmung der Absorption des Spektrometers erfordert, daß dasselbe stets in gleicher Weise von dem ankommenden Strahlenkegel erfüllt wird, damit der geometrische Verlust der Anordnung für alle Linien immer der gleiche bleibt. Zu diesem Zweck wurden Bild- und Gegenstandsweite des Hilfsspektroskopes geeignet variiert, und die Konstanz des Strahlenkegels nach Messungen des Abstandes von

Spaltbild und Quarzlinse, sowie des Durchmessers des die Linse durchsetzenden Lichtbüschels beurteilt. Bild und Strahlenkegel machte hierbei eine Uranglasplatte bezüglich ein mit Fluorescin getränktes Gelatineplättchen sichtbar. Für das sichtbare Gebiet führte eine vorgeschaltete Konkavlinse den Lichtkegel auf die richtige Öffnung zurück.

Nach erfolgter Einstellung des Hilfsspektroskopes wird der Ort des erzeugten Spaltbildes, welches stets etwas größer als der Spalt des Hauptspektrometers sein muß, durch eine Metallspitze festgelegt. Dann schiebt man das Spektrometer so an das erzeugte Spaltbild heran, daß es den Spalt desselben ganz erfüllt, und das von ihm ausgehende Strahlenbündel das Kollimatorrohr symmetrisch durchsetzt. Dieses Richten geschah zunächst durch einfaches Visieren über den Kollimator mittels zweier am Objektiv und Spalt desselben aufgesetzten Spitzen nach der Mitte des Quarzprismas des Hilfsspektroskopes hin. Die richtige Stellung wurde optisch kontrolliert durch Vorschalten einer Uranglasplatte vor das Kollimatorobjektiv. Dasselbe mußte vom Strahlenkegel völlig erfüllt sein. Waren diese Einstellungen beendet, so hatte man noch die richtige Lage der Thermosäule aufzufinden. Sie ergibt sich durch erst vertikales, dann seitliches Verschieben der Thermosäule bis zum jedesmaligen Maximum ihrer Empfindlichkeit, währenddessen die Linie auf das Fadenkreuz eingestellt bleibt. Die so herausgefundene Stellung wurde dann ein für allemal durch die seitlichen Schrauben a und b festgelegt. Beim

Umsetzen der Säule durfte nur eine der Schrauben gelüftet werden, damit sie beim Einsetzen stets wieder die gleiche Lage einnahm.

Beseitigung des Einflusses der diffusen Strahlung [1]).

Offenbar wird man aus der Vergleichung der im Kollimator und Beobachtungsrohr gemessenen Strahlungen nur dann einen brauchbaren Wert für das Absorptionsvermögen erhalten können, wenn auf die Thermosäule nur Strahlen derjenigen Wellenlänge fallen, auf welche das Spektrometer gerade eingestellt ist. Nun ist aber das vom Hilfsspektroskop erzeugte Spaltbild nie so rein, sondern man hat es stets mit einer mehr oder minder großen Beimengung diffuser Strahlen zu tun. Diese Verunreinigung ist in einigen Fällen der ultravioletten Strahlung gegenüber sehr erheblich. Um den Einfluß derselben zu eliminieren, wurde in den Strahlengang dicht vor den Spalt des Spektrometers ein Strahlenfilter E (Fig. 1) eingeschoben, welches die zu untersuchende Strahlung absorbierte, jede andere aber hindurchließ, sodaß die Intensität der diffusen Strahlung bestimmt werden konnte. Das Filter durfte bei der Messung der Gesamtintensität der betreffenden Linie nicht ohne weiteres aus dem Strahlengang entfernt werden, da sonst der Verlust durch Reflexion am Filter E bei dieser Messung in Wegfall gekommen und die anlangende Strahlung so zu groß ausgefallen wäre.

[1]) Hagen und Rubens: Zeitschr. f. Instk. 1902, Heft 2, p. 46.

Dasselbe mußte vielmehr durch eine Platte ersetzt werden, welche angenähert den gleichen Lichtverlust durch Reflexion wie das Filter erzielt, ohne die zu messende Strahlung zu absorbieren. Hierzu diente eine Quarzplatte. Die diffuse Strahlung brauchte nur im Kollimator bestimmt zu werden. Der für sie gefundene Ausschlag α_3 ist von der im Kollimator gemessenen Wärmewirkung abzuziehen, um die auf Seite 7 angegebene Größe α_2 zu erhalten. Bezeichnet man fernerhin der einfacheren Schreibweise wegen den für die verunreinigte Strahlung im Kollimator gefundenen Ausschlag mit α_2, so tritt an die Stelle des früheren α_2 die Größe $\alpha_2 - \alpha_3$, sodaß der Quotient für k_λ auf Seite 7 übergeht in

$$\frac{\alpha_1}{\alpha_2 - \alpha_3} = k_\lambda.$$

Lichtquellen.

Da die Absorptionsbestimmungen möglichst weit in das ultraviolette Gebiet ausgedehnt werden sollten, wurde eine Lichtquelle benötigt, welche sehr intensive Linien im äußersten Ultraviolett lieferte. Nun hat Herr Pflüger in seiner Arbeit „Anwendung der Thermosäule im Ultravioletten . . ."[1]) gezeigt, daß die Intensität der ultravioletten Metallinien von Zink, Aluminium und anderen, welche von einer Funkenstrecke erzeugt werden, eine äußerst kräftige ist. Es wurden daher die Messungen zunächst mit einer Funkenstrecke mit Zink-Elektroden ausgeführt für die Wellen-

[1]) Pflüger: Ann. d. Phys., Bd. 13, p. 890, 1904.

längen 206, 254 und 334,5 $\mu\mu$. Bei 206 $\mu\mu$ zeigte das erzeugte Spaltbild auf der Uranglasplatte eine ungleiche Verteilung der Intensität über den Spalt. Sie war an den Elektroden größer als in der Mitte zwischen denselben. Dies mußte einen Einfluß auf die Größe der zu messenden Absorption ausüben, und zwar wird sie größer ausfallen als bei gleicher Verteilung der Intensität über den Spalt, was aus folgender Betrachtung hervorgeht. Die vom oberen und unteren Ende des Spaltes ausgehenden Lichtbüschel erleiden im Kollimator einen prozentual größeren geometrischen Verlust als die von der Mitte des Spaltes ausgehenden, und die ersteren sind gerade die Bündel größter Intensität. Diese auf geometrischem Wege verloren gehenden Randstrahlen werden im Kollimator mitgemessen, während sie nicht in das Beobachtungsrohr gelangen. Infolgedessen fällt die gemessene Absorption größer aus als bei gleicher Verteilung der Intensität über den Spalt. Völlige Klarheit verschaffte eine analytische Betrachtung, welche für einen ebenen, vertikalen Schnitt durch die Kollimatorachse durchgeführt wurde.

Bezeichnet

i_r die Intensität der Strahlung in der Entfernung r von der Mitte des Spaltes,

φ_r den Winkel der Strahlen, welche in den Kollimator eindringen,

und ψ_r den Winkel der geometrisch absorbierten Strahlen, so stellt

$$\Sigma\, i_r\, \varphi_r$$

die im Beobachtungsrohr gemessene Strahlung dar.

Die gesamte in den Kollimator eintretende Strahlung ist

$$\Sigma\, i_r\, \varphi_r + \Sigma\, i_r\, \psi_r,$$

wovon der Bruchteil

$$\frac{\Sigma\, i_r\, \psi_r}{\Sigma\, i_r\, \varphi_r + \Sigma\, i_r\, \psi_r} = \frac{1}{1 + \dfrac{\Sigma\, i_r\, \varphi_r}{\Sigma\, i_r\, \psi_r}} \quad \ldots \quad 1)$$

absorbiert wird. Für gleichmäßige Verteilung geht der Quotient $\frac{\Sigma\, i_r\, \varphi_r}{\Sigma\, i_r\, \psi_r}$ der Gl. 1 über in $\frac{\Sigma\, \varphi_r}{\Sigma\, \psi_r}$, da i_r konstant ist.

Im vorliegenden speziellen Falle aber ist

$$\left.\begin{array}{lll} i_n > & i_{n-1} > \ldots & > i_0 \\ \varphi_n < & \varphi_{n-1} < \ldots & < \varphi_0 \\ \psi_n > & \psi_{n-1} > \ldots & > \psi_0 \end{array}\right\} \quad \ldots \ldots \quad 2)$$

Es wird daher der Quotient

$$\frac{\Sigma\, i_r\, \varphi_r}{\Sigma\, i_r\, \psi_r} < \frac{\Sigma\, \varphi_r}{\Sigma\, \psi_r} \quad \ldots \ldots \ldots \quad 3)$$

da im Zähler die wachsenden Werte von i_r mit den abnehmenden von φ_r, im Nenner mit den zunehmenden ψ_r multipliziert werden. Dies besagt aber, daß das durch Gl. 1 dargestellte Absorptionsvermögen wegen Gl. 3 größer ausfällt als bei gleichmäßiger Intensitätsverteilung. Es wurden daher die Versuche mit einer Lichtquelle fortgesetzt, die für alle Linien eine gleiche Verteilung der Strahlungsintensität über den Spalt erwarten ließ. Hierzu eignete sich besonders eine

Quecksilberdampflampe, die später auch für die Messungen im sichtbaren Gebiete des Spektrums Verwendung fand. Zuletzt diente als Lichtquelle die im zweiten Teil der Arbeit benutzte Bogenlampe, um alle Bedenken wegen ungleicher Intensitätsverteilung für die verschiedenen Linien zu zerstreuen.

Einen ungefähren Anhalt über die Größenordnung der durch den obigen Einfluß auftretenden Abweichungen lieferte ein besonderer Versuch. Es wurde ein Viertel der Spalthöhe vom oberen Ende aus gerechnet abgedeckt, und die Absorptionsmessung ausgeführt. Bei dieser künstlich hergestellten, extrem ungleichen Verteilung ergab sich nur eine verhältnismäßig geringe Abweichung (ca. $15^0/_0$) von der Messung mit unabgedecktem Spalt, so daß zu erwarten ist, daß bei den wirklich vorliegenden Verhältnissen die Absorption nur um wenige Prozent zu groß ausfallen wird.

Die Lichtquellen im besonderen.

Funkenstrecke mit Zink-Elektroden. Dieselben waren Zinkstäbe von rechteckigem Querschnitt — 2×3 mm — mit der schmalen Kante dem Spalt zugekehrt. Der Funke von 8 bis 9 mm Länge wurde erzeugt durch ein Induktorium von Klingelfuß, betrieben mit städtischem Wechselstrom von 50 Perioden, 60 Volt Klemmenspannung und 20 Amp. Effektivstromstärke im Primärkreis. Das Übersetzungsverhältnis war 85 000 : 385. Parallel zur Funkenstrecke lagen 6 Leydener Flaschen von zusammen ca. 0,0216 μ F Kapazität. Der Wahl von Funkenlänge, Kapazität, Übersetzungsverhältnis

und Anordnung der Funkenstrecke lagen die Erfahrungen von Herrn Pflüger[1]) zu Grunde. Nur bei der Funkenlänge konnten die günstigsten Verhältnisse nicht eingehalten werden, da das erzeugte Spaltbild größer als 6 mm sein mußte, um das Kollimatorrohr völlig zu erfüllen.

Bei den ersten Versuchen zeigte das Induktorium magnetische Einwirkungen auf das Galvanometer. Ein Drehen des Induktoriums sowie das Anbringen von Gegenampèrewindungen brachte nicht den gewünschten Erfolg, die Störungen zu beseitigen. Man vermied wohl den Sonderausschlag des Galvanometers beim Zünden des Funkens, konnte aber nicht die Komponente des Streufeldes aufheben, welche die Empfindlichkeit des Galvanometers beeinflußte. Zudem war die Einstellung des Ausschlages eine sehr unruhige. Das Induktorium mußte daher so weit, als es die örtlichen Verhältnisse gestatteten — 16 m — abgestellt werden, bis es keine magnetischen Störungen hervorrief.

Quecksilberdampflampe. Dieselbe war eine der gewöhnlichen Konstruktion von W. C. Heräeus in Hanau mit Quarzgefäß. Sie wurde betrieben mit dem Gleichstrom einer Akkumulatorenbatterie von 110 Volt und 2,1 Amp. Stromstärke. Sie zeichnete sich durch eine sehr konstante Strahlung aus. Die Batterie wurde während der Versuche nicht anderweit benutzt.

Als Bogenlampe diente die später verwendete Lampe von Siemens & Halske Hefner-Alteneckscher

[1]) Pflüger: Ann. d. Phys., Bd. 13, p. 890, 1904.

Konstruktion mit Homogenkohlen von je 16 mm Durchmesser. Die Stromstärke betrug 14 Amp. bei 62 Volt Bogenspannung. Die Einzelheiten über ihre Verwendung und Einrichtung finden sich im zweiten Teil der Arbeit p. 44, außerdem in der Arbeit von W. Hallwachs über „Lichtelektrische Ermüdung . . ."[1]). Als Strahlungsquelle diente hierbei nur der Bogen, der Krater war durch Tondiaphragmen abgeblendet.

Einrichtung der Versuchsreihen und Ergebnisse derselben.

Die Versuchsreihen hatten folgende Anordnung. Nach Einstellung und Justierung der beiden Spektralapparate wurde zuerst die Strahlungsintensität der betreffenden Linie im Beobachtungsrohr, alsdann im Kollimator gemessen. In beiden Fällen befand sich die Quarzplatte vor dem Spalt des Spektrometers. An dritter Stelle gelangte die diffuse Strahlung im Kollimator zur Bestimmung, wobei eine Glas- oder Glimmerplatte die Quarzplatte ersetzte. Diese Anordnung hatte den Vorteil, daß die Thermosäule nur einmal umgesetzt zu werden brauchte. Nach dem Umsetzen mußte immer eine ziemliche Zeit gewartet werden, bis wieder Temperaturgleichgewicht an der Thermosäule eintrat. Von einem Wenden des Stromes im Galvanometerkreis sah man ab wegen der hierbei auftretenden Störungen durch Thermoströme, welche trotz der ganz aus Kupfer hergestellten Strombahn beim Wenden auftraten. Von

[1]) W. Hallwachs: Phys. Z., 5. Jahrgang, p. 490.

den ausgeführten Versuchsreihen werden im folgenden für jede Wellenlänge ausführlich nur je zwei Reihen wiedergegeben, um ihren Verlauf im einzelnen darzustellen. Von den übrigen, die durchaus gleichwertig sind und in analoger Weise sich abwickelten, gelangen der Einfachheit halber nur die Resultate zur Wiedergabe. Sie sind für jede Lichtquelle gesondert in den Tabellen I, II, III zusammengestellt. Die in ihnen benutzten Bezeichnungen sind

α_1 Galvanometerausschlag für die Strahlung im Beobachtungsrohr;
α_2 der für die in den Kollimator eintretende Strahlung;
α_3 Wert der diffusen Strahlung;
k_λ durchgehende Strahlung als Bruchteil der gesamten für die Wellenlänge λ;
a_λ relatives Absorptionsvermögen in $^0/_{00}$, vgl. p. 9;
R Reduktionsfaktor des Spektrometers, vgl. p. 10.

Für alle Absorptionsmessungen betrug der Öffnungswinkel des ankommenden Lichtkegels 11,7°, die Entfernung der Thermosäule vom Spalt 24,7 mm und die Breite des Spaltes 1 mm, für den am Thermoelement befindlichen 10 Bogenminuten entsprechend. Die Einzelheiten der Versuche und die besonderen Abmessungen finden sich bei jeder neuen Anordnung.

1. Absorptionsmessungen mit der Funkenstrecke (Tab. I).

   Zink-Elektroden 2 : 3 mm. Funkenlänge 8 mm. Linien 206 $\mu\mu$, 254 $\mu\mu$, 334,5 $\mu\mu$.

Der Funke wurde alle 2 Minuten gezündet und nur der erste Ausschlag beobachtet. Vor der Messung wurden die Elektroden eine kurze Zeit eingebrannt.

Im Mittel ergibt sich aus je 4 Messungen für jede Linie mit Funkenstrecke als Lichtquelle

Wellenlänge in $\mu\mu$	100 k_λ beobachtet				100 k_λ im Mittel	α_λ im Mittel
206	33,4	35,0	34,2	29,6	33,5	66,5
254	41,0	38,3	41,7	38,0	39,7	60,3
334,5	41,6	45,6	44,0	42,0	43,3	56,7

Die Resultate sind in Diagramm I wiedergegeben. Als Abscissen sind die Wellenlängen, als Ordinaten die Absorptionsvermögen aufgetragen.

Tabelle I.

Wellenlänge in $\mu\mu$	Galvanometer-Ausschläge. Empfindlichkeit $1{,}9 \cdot 10^{-10}$ Amp./Skt.						100 k_λ	α_λ in %
	α_1		α_2		α_3			
	beobachtet	im Mittel	beobachtet	im Mittel	beobachtet	im Mittel		
206	30 33 32 30 32 33	32,0	98 96 94 99 96 94	96,1	—	—	33,4	66,6
	30 32 34 33 33 33	32,5	96 92 94 97 96 97	95,3	—	—	34,2	65,8
254	45 44 44 47 51 47	46,7	111 116 110 121 116 109	113,9	—	—	41,0	59,0
	48 42 48 49 47 43	46,1	113 115 110 111 108 108	110,9	—	—	41,7	58,3
334,5	49 54 47 46 49 49	49,0	129 133 136 134 125 133	131,6	13 12 13 14 13 13	13	41,3	58,7
	52 58 53 54 56 56	54,8	128 128 130 131 131 132	130,0	10 9 9 11 10 12	10,1	45,6	54,4

2. Absorptionsmessungen mit der Quecksilberdampflampe für die Linien 313, 435,9 und 546 $\mu\mu$.

Die Lampe wurde eine halbe Stunde vor dem Versuch eingebrannt. Die Betriebsstromstärke war 2,1 Amp. bei 110 Volt Klemmenspannung.

Die Versuchsreihen finden sich in Tabelle II und zeichnerisch in Kurve II.

Tabelle II.

Wellenlänge in $\mu\mu$	Galvanometer-Ausschläge. Empfindlichkeit $1{,}9 \cdot 10^{-10}$ Amp./Skt. α_1 bezgl. $\Sigma\alpha_1$ beobachtet	im Mittel	α_2 beobachtet	im Mittel	100 k_λ	α_λ
313	24 23 23 23 24 24 24 25	23,8	56 57 57 58 56 54 54 55	56,0	42,6	57,4
435,9	35 35 35 34,5 36 35 35 34	35,0	69 70 70 70,5 71 70,5 71 71	70,3	49,8	50,2
546 (β)	21 22 22 21 21 21 22 23	21,5	37 39 39 39 38 39 38 38	38,4	56,0	44,0

Im Mittel ergab sich aus je 2 Messungen

Wellenlänge in $\mu\mu$	100 k			α_λ %
	beobachtet		im Mittel	
313	42,6	44,0	43,3	56,7
435,9	49,8	50,8	50,3	49,7
546 (β)	56,0	54,0	55,0	45,0

3. Absorptionsmessungen mit der Bogenlampe für die Banden 251 $\mu\mu$, 305 $\mu\mu$ und 415 $\mu\mu$.

Die Lampe wurde betrieben mit 14 Amp. Stromstärke bei 62 Volt Bogenspannung. Vor dem Versuch wurde sie längere Zeit eingebrannt, damit der Bogen ruhig lag. Über die Einzelheiten des Einbrennens wird im II. Teil der Arbeit berichtet.

Die Resultate sind in Tabelle III zusammengestellt und in Kurve III graphisch wiedergegeben.

Tabelle III.

Wellenlänge in $\mu\mu$	Fernrohrstellung	Galvanometer-Ausschläge. Empfindlichkeit je nach Intensität. Σa_1 beobachtet	Σa_1 im Mittel	a_2 beobachtet	a_2 im Mittel	a_3 im Mittel	100 k_λ	a_λ
251	239°	25 26 26 24 26 25 26 26	25,5	101 102 104 104 102 105	103	—	39	61
	239° 10′	16 16 14 15 15 14 14 16	15,0	103 103				
305	239° 44′,14	14,5 15,5 14 14,5 13 14 16 13	14,3	100 104 103 96 100 102 104 98	100.9	66.1	43,2	56,8
415	241° 6′,39	24 21 21 25 22,5 22 23 24	22,8	80 85 83				
	240° 56′,39	13 14 14 12 14 13 14 13	13,4	86 79 82 75 84	83	—	47,3	52.7
	240° 46′,39	3 3 3 3	3					

Für die Bande 305 $\mu\mu$ ist die Intensität der diffusen Strahlung sehr groß wegen der Nähe der energiereichsten Banden 357, 385 und 415 $\mu\mu$ des Bogens. Bei 415 $\mu\mu$ gelang die Bestimmung der diffusen Strahlung nicht aus Mangel an einem geeigneten Absorptionsmittel. Es wurde daher die gesamte in das Beobachtungsrohr gelangende Energie durch schrittweises Auskalibrieren des daselbst entstehenden kleinen unreinen Spektrums bestimmt.

Legt man zuletzt der Messung von k_λ und a_λ als Einheit die Werte k_N und a_N der grünen Quecksilberlinie 546 $\mu\mu$ als der Normalfarbe zu Grunde, so ergeben diese Verhältnisse die relativen Größen des Durchlassungs- und Absorptionsvermögens.

Die so gefundenen Resultate sind in Tabelle IV für alle drei Lichtquellen zusammengefaßt. In ihrer letzten Spalte findet sich der Reduktionsfaktor R des Spektrometers, dessen Kenntnis für die späteren Messungen erforderlich ist. Kurve IV und V geben die erhaltenen Resultate von a und R.

Tabelle IV.

Wellenlänge in $\mu\mu$	100 k_λ	a_λ	$\frac{k_\lambda}{k_N} = k$	$\frac{a_\lambda}{a_N} = a$	R
206	33,5	66,5	0,598	1,51	1,67
251	39,0	61,0	0,697	1,39	1,43
254	39,7	60,3	0,709	1,37	1,41
305	43,2	56,8	0,771	1,29	1,30
313	43,3	56,7	0,775	1,29	1,29
334,5	43,3	56,7	0,775	1,29	1,29
415	47,3	52,7	0,846	1,19	1,18
435,9	49,8	50,2	0,890	1,14	1,12
546 (β)	56,0	44,0	1,000	1,00	1,00

Tabelle IV zeigt, daß mit abnehmender Wellenlänge die Absorption nahezu gradlinig zunimmt. Bei 206 $\mu\mu$ steigt die Kurve etwas steiler an, was vielleicht der ungleichen Verteilung der Strahlungsintensität über den Spalt, ebensogut aber der stärker anwachsenden Absorption zugeschrieben werden kann. Im übrigen ordnen sich alle für die drei Lichtquellen gefundenen Größen gut in einander ein. Die Genauigkeit der R-Werte läßt sich auf Grund des gesamten Versuchsmaterials auf etwa 3% schätzen.

Auch für andere Spektrometer mit Quarz-Flußspat-Achromaten werden die Werte der Tabelle IV einen Anhalt für die Spektrometerabsorption geben. Eine genauere Ermittlung für dieselben durch besondere Versuche wird durch die Feststellung des linearen Verlaufes mit der Wellenlänge wesentlich vereinfacht.

Bestimmung des Lichtverlustes in dem mit destilliertem Wasser gekühlten Absorptionstrog.

Bei den späteren Emissionsmessungen machte die Verunreinigung durch ultrarote Strahlen die Einschaltung einer einige Zentimeter dicken Wasserschicht unbedingt nötig, welche der Hauptsache nach ihren Einfluß beseitigte. Der mit planparallelen Quarzplatten abgeschlossene Absorptionstrog, welcher mit destilliertem Wasser gefüllt wurde, gibt Verluste durch Reflexion und im Ultravioletten besonders durch Absorption. Dies mußte im Hinblick auf die später vorzunehmenden Emissionsbestimmungen bekannt sein, daher gesondert bestimmt und dann mit dem Verlust im Spektrometer zum gesamten vereinigt werden.

Die Absorptionsmessungen geschahen in der Weise, daß an einer ultravioletten Lichtquelle Emissionsmessungen vorgenommen wurden, einmal wenn der Absorptionstrog in den Strahlengang vor das Spektrometer eingeschaltet wurde, das andere Mal, wenn die Strahlen den Apparat unmittelbar durchsetzten. Aus dem Verhältnis der zugehörigen Ausschläge des Galvanometers mußte sich sodann das Absorptionsvermögen des Troges für die betreffenden Wellenlängen ableiten lassen.

Ein zweiter Absorptionstrog dicht vor dem Objektiv des Beobachtungsrohres beseitigte in diesem Falle die ultraroten Strahlen.

Bezeichnet

β_1 den Galvanometerausschlag bei direktem Strahlengang,

β_2 den bei Einschaltung des Absorptionstroges,

so stellt der Quotient

$$\frac{\beta_2}{\beta_1} \quad k_\lambda$$

die durchgehende Strahlung als Bruchteil der gesamten für die Wellenlänge λ dar und

$$(1 - k_\lambda) \cdot 100 = a_\lambda$$

das Absorptionsvermögen in Prozenten.

Wird in gleicher Weise die grüne Quecksilberlinie 546 $\mu\mu$ als Normalfarbe angenommen und die Größen k_λ auf diesen als Einheit bezogen, so ist

$$R = \frac{k_N}{k_\lambda}$$

der Reduktionsfaktor des Absorptionstroges für die Wellenlänge λ.

Die Absorptionsbestimmungen geschahen mit der Versuchsanordnung der Emissionsmessungen, damit dieselben unter den gleichen Verhältnissen wie die letzteren stattfanden.

Als Lichtquelle diente die Quecksilberdampf- und die Bogenlampe. Die Absorption wurde gemessen für die Wellenlängen 253, 313 und 546 $\mu\mu$ der Quecksilberlampe und für die Bande 385 $\mu\mu$ des Bogens.

Versuchsergebnisse.

Die gute Konstanz der Strahlung der Quecksilberdampflampe ermöglichte es, mit je zwei Meßreihen für jede Wellenlänge auszukommen.

Die Resultate sind in Tabelle V dargestellt und in Kurve VI. Vereinigt man am Schluß die Reduktionsfaktoren des Spektralapparates mit den zugehörigen des Absorptionstroges, so folgt hieraus der Reduktionsfaktor der gesamten Meßanordnung in seiner Abhängigkeit von der Wellenlänge. Siehe Tabelle VI und Kurve VII. Aus den Kurven VI und VII ist ersichtlich, daß die Absorption mit abnehmender Wellenlänge außerordentlich schnell anwächst.

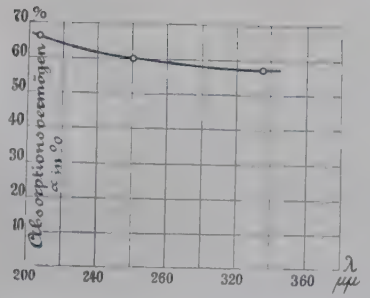
Tabelle V.

Wellenlänge in $\mu\mu$	Galvanometer-Ausschläge β_1 beobachtet	β_1 im Mittel	β_2 beobachtet	β_2 im Mittel	100 k_λ	a_λ %	R
546	89 91 90 86,5 88 87 86 87	88,0	79 80 78 78 79 77 80 79	78,8	89,5 } 89,1	10,9	1
	90 89 86 88 87 87 89 88	88,0	77 76 79 78 77 79 80 77	78,0	88,6 }		
313	30 32 33 30 31 32 32 30	31,3	27 25 24 25 27 27 26 25	25,8	82,4 } 81,2	18,8	1,10
	31 32 31 33 32 34 33 34	32,5	26 27 25 27 25 26 25 27	26,0	80,0 }		
253	14 13 14 14 14 15 13 15	14,0	9 9 10 10 10 9 9 10	9,5	67,8 } 68,4	31,6	1,30
	14 13,5 14 14 16 14 15 13	14,2	10 11 10,5 9 9 9 10 10	9,8	69,0 }		
385	137 141 133 132 136 134 134 133	135,0	110 116 113 111 114 117 118 115	114,1	84,5 } 84,0	16,0	1,05
	128 125 129 131 126 124 128 130	127,6	102 106 109 107 104 107 103 111	106,5	83,4 }		

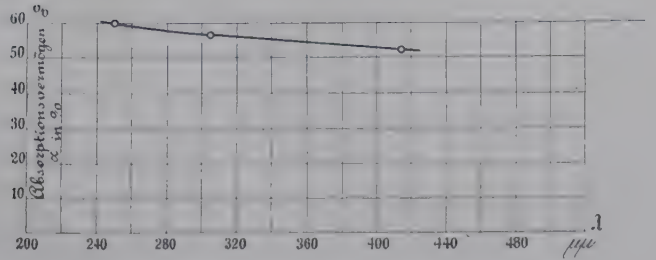
Tabelle VI.

Wellenlänge in $\mu\mu$	R_{ber} für gesamte Anordnung
546	1,00
415	1,18
385	1,26
357	1,28
251	1,87

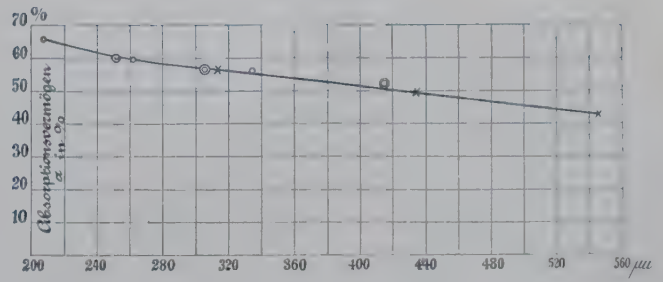
I.



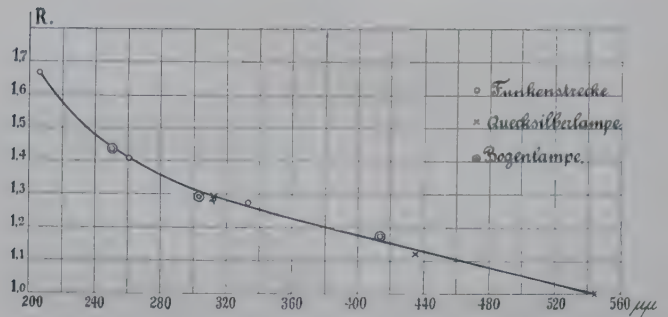
II.



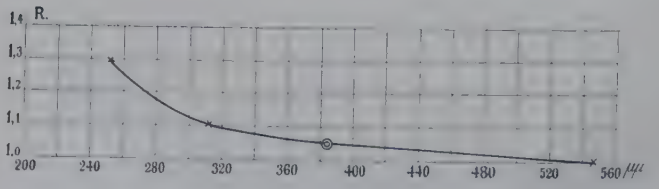
III.



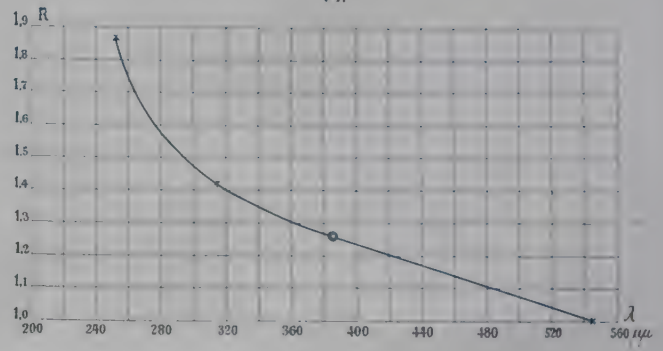
IV.



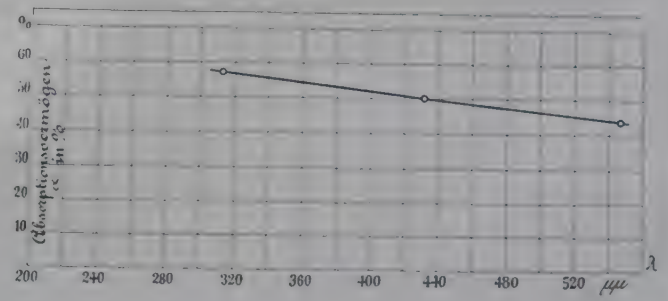
V.



VI.



VII.



II. Teil.

Bestimmung von Emission und Absorption des Kohlelichtbogens.

Ältere Versuche: Die Emission des Kohlebogens in seiner Abhängigkeit von der Wellenlänge hat früher schon Herr Snow[1]) bestimmt gelegentlich seiner Arbeit über das ultrarote Emissionsspektrum der Alkalien. Er maß die Intensität der Strahlung durch ihre Wärmewirkung mittels des Bolometers. Diese Untersuchungen erstreckten sich über das ultrarote und sichtbare Gebiet des Spektrums hin bis zur Bande bei 357 $\mu\mu$. Er fand, daß die Hauptemission des Bogens im Ultravioletten bei der Bande mit dem Schwerpunkt 385 $\mu\mu$ lag. Auch die Bande 357 $\mu\mu$ lieferte noch eine merkliche Wärmewirkung. Die weiterhin im Ultravioletten gelegenen Banden nachzuweisen gelang Herrn Snow nicht, da sein Spektralapparat mit einer Glasoptik ausgerüstet war. Die Emissionskurve gibt daher auch schon für die Banden 385 und 357 $\mu\mu$ wegen der zunehmenden Absorption im Apparat eine falsche Intensitätsverteilung der Emission. Die Strahlungen fallen zu klein aus, hauptsächlich die der Bande 357 $\mu\mu$.

[1]) Snow: „Über das ultrarote Emissionsspektrum der Alkalien." Wied. Ann., Bd. 47, p. 208, 1892.

Dann haben Hagen und Rubens[1]) in ihrer Arbeit „Das Reflexionsvermögen einiger Metalle für ultraviolette und ultrarote Strahlen“ noch weitere 4 Banden im Ultravioletten allerdings mit veränderten Spaltbreiten und unter Ausnutzung der positiven Kraterstrahlung messend verfolgt, deren Intensitätsmaxima sie bei 305, 288, 251 und 221 $\mu\mu$ fanden.

Die Ergebnisse der im Vorigen erwähnten Versuche erlauben nicht ohne weiteres einen Rückschluß auf die wirklichen Strahlungsverhältnisse, da sie die Absorption im Spektrometer nicht berücksichtigen. In den folgenden Versuchen ist dies unter Benutzung der Ergebnisse des ersten Teiles dieser Arbeit vermieden, wodurch wenigstens die Verhältnisse der Emission verschiedener Wellenlängen von diesem Fehler frei werden. Allerdings liefern diese Messungen die eigentlichen Emissionen auch noch nicht, dazu würde die Auflösung und Detailuntersuchung[2]) der Banden und die Kenntnis der Energieverteilung innerhalb derselben erforderlich sein, eine zurzeit undurchführbare Aufgabe.

Man muß sich daher ebenso wie die früheren Beobachter darauf beschränken, die Gesamtemission der einzelnen Banden und deren Absorption zu bestimmen.

Zur Untersuchung gelangten insgesamt folgende Banden des Bogens 221, 251, 357, 385, 415 und 808 $\mu\mu$,

[1]) Hagen und Rubens: Ann. d. Phys., Bd. 8, p. 1, 1902.

[2]) Kayser und Runge untersuchten die Konstitution der Banden 385 und 357 $\mu\mu$ des Bogens. Wied. Ann., Bd. 38, p. 90, 1889.

sowie die Absorptionen der dem Bogen fremden Linien 275 und 313 $\mu\mu$. Hierbei ließen die Banden 357, 385 und 415 $\mu\mu$ die gleichzeitige Bestimmung von Emission und Absorption zu, da denselben eine Spaltbreite von 0,5 mm, die zur Erzielung vergleichbarer Werte der Strahlungsintensitäten für sämtliche Emissionsmessungen einzuhalten ist, auch für die Absorptionsbestimmungen genügte, während die geringe Energie der Bande 251 $\mu\mu$ eine gesonderte Ermittelung ihrer Absorption erforderlich machte mit einem auf 1 mm erweiterten Spalt. 221 $\mu\mu$ ließ nur thermoelektrisch den Nachweis ihrer Existenz führen, eine wirkliche Ermittlung ihrer Intensität versagte an der nicht ausreichenden Empfindlichkeit der Aufnahmeapparate. Für die an der Grenze des Ultraroten gelegenen Bande 808 $\mu\mu$ kam nur die Absorption zur Messung. Die hierbei mitgefundene Emission derselben ist aber durchaus nicht mit den für die ultravioletten Banden bestimmten Werten in Vergleich zu setzen, da ein bedeutend größerer Spektralbereich — ungefähr der 15fache — die Thermosäule trifft als im Ultravioletten. Ferner ist das Spektrum in diesem Gebiet wegen der geringen Dispersion auch außerordentlich unrein. Zuletzt gelangten noch die Absorptionsmessungen für die dem Bogen fremden Linien 275 und 313 $\mu\mu$ zur Ausführung.

Einrichtung der Versuche und Versuchsanordnung.

Die Absorptionsmessung selbst geschah in der folgenden Weise. Eine zweite Bogenlampe wurde hinter der ersten, der vorderen Lampe, so aufgestellt, daß sie durch den Bogen der vorderen hindurch in den Kollimator des Spektrometers strahlen konnte. Es gelangte nun die Emission der vorderen Lampe allein (e_v), die der hinteren für sich (e_h) und die beider gleichzeitig brennenden Lampen (e_{v+h}) zusammen zur Bestimmung. Dann ergibt die Größe

$$e_v + e_h - e_{v+h} = \alpha e_h$$

die durch die vordere Lampe absorbierte Strahlung, wenn α das Absorptionsvermögen des ersten Bogens bezeichnet, und der Quotient

$$\frac{e_v + e_h - e_{v+h}}{e_h} = \alpha$$

das Absorptionsvermögen im untersuchten Wellenlängengebiet. In dem Absorptionsverlust αe_h ist allerdings noch der Reflexionsverlust einbegriffen, den die Strahlung der hinteren Lampe an der vorderen erfährt. Die gefundenen Werte von α werden daher etwas zu groß ausfallen.

Außerdem wird die Differenz $e_v + e_h - e_{v+h}$ nur dann den wirklichen Verlust durch Absorption und Reflexion darstellen, wenn bloß welche Strahlen von der hinteren Lampe in das Spektrometer gelangen, welche wirklich den absorbierenden Teil des vorderen

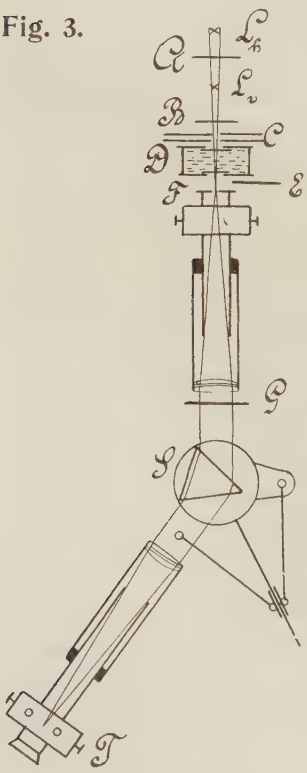
Bogens durchsetzt haben, hingegen nicht solche, die am Bogen der vorderen Lampe vorbei, ungeschwächt durch Absorption in den Kollimator eindringen können. Im letzteren Falle würde $e_v + e_h - e_{v+h}$ einen zu kleinen Wert ergeben. Überhaupt ist auf die richtige Relativlage der Bogen, sowie die Konstanz ihrer Strahlung fortlaufend die größte Sorgfalt zu verwenden. Zu diesem Geschäft entwarfen zwei Linsen auf Schirmen die Bilder der Bogen, aus denen ein zweiter Beobachter dauernd ihre Lage kontrollieren, sowie bei Beginn der Messungen die Anfangslage der Bogen durch Striche markieren konnte.

Die Inkonstanz der Strahlung sollte durch symmetrische Anordnung der Emissionsmessungen eliminiert werden und zwar in der Reihenfolge: je zwei Messungen für L_v, L_{v+h}, dann vier für L_h, zuletzt wieder je zwei für L_{v+h} und L_v. Es zeigte sich jedoch, daß diese Meßfolge nicht so günstig war wie man dachte. Die Dauer einer solchen Meßreihe ist doch zu lang, als daß man versichert ist, der Bogen habe sich in seiner Strahlung nicht stärker geändert als bei der folgenden Meßanordnung. Es wurde hintereinander je eine längere Meßreihe für L_v, L_{v+h} und L_h aufgenommen, und hierbei die Vorsicht gebraucht, daß man vor Beginn einer jeden Reihe den Bogen in die bezeichnete Anfangslage zurückbrachte, was sich aus den Marken an den Bogenbildern sehr gut beurteilen ließ. Unter diesen Umständen konnte erwartet werden, daß bei gleichen Anfangsbedingungen auch die einzelnen Meßreihen für alle drei Emissionen in

analoger Weise verliefen. Fehler, die durch das öftere Ein- und Ausschieben der vorderen Lampe veranlaßt werden, sind hier vermieden. Die definitiven Messungen wurden daher nach dieser Methode durchgeführt.

Die Versuchsanordnung ist aus Fig. 3 ersichtlich. Es bedeutet hierin L_v den absorbierenden Lichtbogen, L_h die weite Lampe, gewöhnlich ebenfalls ein Kohlebogen, an deren Stelle jedoch bei einigen Versuchen eine solche mit Nickelstahlkathode, beziehentlich eine Hg — Quarzlampe trat, um die Absorption des Bogens auch für einige ihm fremde Linien untersuchen zu können.

Fig. 3.



A ist ein Diaphragma aus Ton, B eine Blende, welche die vom Krater der vorderen Lampe ausgehenden Strahlen abschneidet. Die mit entsprechenden Ausschnitten versehenen Asbestschirme C schützen den mit destilliertem Wasser gefüllten Absorptionstrog D gegen die Wärmestrahlung der Lampen. Der Schieber E verschließt das Spektrometer während des Nichtgebrauchs gegen die Bogenstrahlung.

Der Strahlengang ist der folgende: Vom Bogen L_h ausgehend passieren die Strahlen zunächst das Diaphragma A, den Bogen L_v

und dann den Absorptionstrog D. Sie gelangen nun auf den Spalt F des Spektrometers S und werden schließlich im Beobachtungsrohr auf der Thermosäule T vereinigt.

Spektrometer, Thermosäule und Kugelpanzergalvanometer sind die gleichen wie im ersten Teile der Arbeit.

Das Diaphragma A von 4 mm Breite und 8 mm Höhe hat den Zweck, einen bestimmten Teil des Bogens auszublenden und damit zu gewährleisten, daß bei den Absorptionsversuchen nichts neben L_v vorbeigeht. Es ist ebenso wie Blende B aus Ton gefertigt, da andere Materialien wie Glimmer, Retortenkohle, Schiefer, Spechstein sich in der großen Hitze nicht bewährten. Der Trog D, welcher Quarzfenster für den Durchgang des Ultravioletten besaß, diente zur Beseitigung der Störung durch ultrarote, diffuse Strahlung, während die analoge aus dem sichtbaren Gebiet stammende Verunreinigung, wie im ersten Teil der Arbeit, durch wechselweises Vorschalten von Quarz- bezüglich Glasplatten (s. p. 17) eliminiert wurde. Letzteres gelang indeß betreffs der Banden 357 und 415 $\mu\mu$ nur unvollkommen, da dort wegen der Nähe der starken Bande 385 $\mu\mu$ die Störung verhältnismäßig groß ist, während die erwähnten Vorschaltplatten die genannten drei Banden nicht wesentlich verschieden absorbierten. Die Werte für die Banden 357 und 415 $\mu\mu$ sind daher weniger genau, im speziellen fallen die Emissionen etwas zu hoch aus.

Da das Panzergalvanometer bei den höheren benutzten Empfindlichkeiten tagsüber wegen der Nähe der elektrischen Bahn nicht genügend störungsfrei blieb, fanden die entsprechen Versuche in der Nacht während der Betriebspause der Bahn statt.

Die benutzten Lampen waren Kontaktlampen (Hauptstromlampen) nach Hefner-Alteneck. Zur Verkleinerung ihres Regulierintervalles standen sie in Trögen mit Vaselinöl. Die Kohlenträger haben eine seitliche Abkröpfung von etwa 15 cm, um den magnetischen Einfluß der Stromführungen, sowie hauptsächlich den der Spulen auf die Zentrierung des Bogens zu beseitigen. Vollständige Zentriereinrichtungen an den Kohlenträgern gestatten auch während des Brennens, die Kohlen parallel zum Transportweg wie auch ihre Achsen in eine Gerade zu bringen. Zum Schutz der Bogen gegen Luftzug sind die Lampen mit Asbestschirmen umgeben. Die absorbierende Lampe stand auf einem Support, um erschütterungsfrei aus dem Strahlengang entfernt werden zu können während der Emissionsmessung an der zweiten Lampe.

Beide Lampen wurden mit Homogenkohlen „Marke A, Gebr. Siemens", von 16 mm Durchmesser gebrannt, da diese nach Erfahrungen von Herrn W. Hallwachs[1]) sowie R. Lindemann[2]) bezüglich konstanten Brennens und Ausbeute an ultraviolettem

[1]) W. Hallwachs: „Lichtelektrische Ermüdung . . ." Phys. Z., 5. Jahrgang, p. 490.

[2]) R. Lindemann: „Lichtelektrische Photometrie . . ." Ann. d. Phys. 19, p. 807, 1906.

Licht den Dochtkohlen überlegen sind. Die positive Kohle befand sich für beide Lampen oben. Der Strom, welchen eine anderweit unbeanspruchte Akkumulatorenbatterie lieferte, hatte 13,5 Amp. bei einer Bogenspannung von 68 Volt. Zur Messung der letzteren dienten zwei über die Kohlen geschobene Messingrohrklemmen, an welche die Anschlußdrähte zum Voltmeter hart angelötet waren. Der Spannungsabfall in den Kohlen blieb unberücksichtigt.

Das Einbrennen auf bestimmte Lichtstärke.

Bei der Einstellung der Lampen war ganz besonderer Wert darauf zu legen, daß die Kohlen genau in einer Achse standen. Geringe Abweichungen hatten ein Wandern, Ausbiegen des Bogens sowie schiefen Abbrand der Kohlen im Gefolge. Zur Erleichterung dieser Justierung durch die Zentriervorrichtungen an den Kohleträgern wurden mittels eines seitlich aufgestellten Lichtes in zwei zueinander senkrechten Richtungen Schattenbilder der Kohlen auf Schirmen erzeugt, die eine Beurteilung der Kohlestellungen mit Hilfe eines Lineals zuließen. Nach dieser Berichtigung war vor allem zur Erlangung einer möglichst guten Konstanz der Strahlung darauf zu achten, daß die Lampen sich gut einbrannten, denn erst dann lag der Bogen ruhig und wurde nicht teilweis von den Kohlen abgeblendet. Die charakteristischen Formen der Kohlenenden ließen den Zeitpunkt für den Beginn der Messungen erkennen.

Bei der großen Länge des Bogens — 13 mm — geschah es trotz der obigen Vorsichtsmaßregeln leicht, daß der Bogen unruhig wurde und sich nach den Seiten ausbog. Außerdem beeinflußten sich die Bogen gegenseitig. Zur Beseitigung dieser Unruhe dienten kleine Magnete, deren zweckmäßige Anordnung sich erst nach mannigfachen Versuchen finden ließ, und zwar in der folgenden Weise. Für jede Lampe wurde das Magnetfeld, welches die aufeinander zu brennenden Bogen in die Mitte der Kohlen zurücktrieb, gesondert durch je ein kleines Stabmagnetpaar in der Nähe des Bogens erzeugt. An den vom Bogen abgewendeten Polen erhielten die Magnete einen magnetischen Rückschluß durch aufgelegtes Eisenblech, so daß sie wie Hufeisenmagnete wirkten. Es trat infolgedessen nur an den freien Polen ein stärkeres Magnetfeld auf, welches wegen der geringen Entfernung richtend auf den Bogen wirkte, aber auch nur auf den einen. Die richtige Lage des Bogens erkannte man an den von den Linien erzeugten Bildern (s. p. 41).

Vor der Messung wurden die Lampen eine halbe Stunde lang eingebrannt.

Aufstellung und Justierung der Anordnung.

Die Aufstellung und Justierung der Anordnung beschränkte sich lediglich darauf, die beiden Bogen in die verlängerte Kollimatorachse des Spektrometers zu bringen, sowie ihre Höhe zu regulieren. Zu diesem

Zweck wurde in den Objektivdeckel des Kollimators ein feines zentrisches Loch gebohrt und der Spalt bis auf einen Punkt in der Mitte desselben abgedeckt. Dicht hinter die Bohrung stellte man eine kleine Glühlampe so auf, daß sie ein ganz enges Lichtbündel durch die beiden Löcher im Kollimator senden konnte. Die Kollimatorachse war somit festgelegt. Der entstandene Lichtpunkt, welcher die Längsrichtung der Achse bezeichnete, konnte von der Seite der Bogenlampen aus gut gesehen werden. Nunmehr gelangten die beiden Lampen zur Aufstellung und zwar so, daß der Lichtpunkt zentrisch zwischen den Kohlenenden sichtbar war. Nach beendeter Einstellung wurde am Support, auf dem die Vorderlampe stand, der Anschlag festgelegt, damit dieselbe beim Einschieben in den Strahlengang wieder die gleiche Lage einnahm. Die Regulierung der Höhe der beiden Bogen geschah in der Weise, daß nur der Bogen, nicht der Krater in das Spektrometer strahlen konnte. Dies erkannte man daran, daß beim Brennen der Lampen das Kollimatorobjektiv nur von violettem Licht erfüllt war. Zuletzt gelangte noch das Diaphragma A zur Einstellung. Der Lichtpunkt mußte in zentrischer Lage zum Spalt desselben erscheinen.

Bei der Aufstellung war noch zu berücksichtigen, daß die vordere Lampe stets die gleiche Entfernung vom Spektrometer besaß. Sie betrug 115 mm und die der beiden Bogen voneinander etwa 60 mm. Die letztere spielte jedoch keine Rolle, da die gemessene Absorption von ihr unabhängig ist. Die Blende B,

welche die Kraterstrahlen der Vorderlampe abschneidet, ist 90 mm vom Kollimatorspalt entfernt. Sie schneidet aus dem Bogen ein Stück von 7 mm Höhe aus.

Ausführung und Resultate der Versuche.

Die Versuchsreihen verliefen nach der p. 41—42 bereits angegebenen Weise. Nachdem die Lampen eingebrannt und in ihrer richtigen Stellung kontrolliert, sowie an den Linsenbildern der Bogen die Anfangslagen bezeichnet waren, kam als erstes die Galvanometerempfindlichkeit zur Bestimmung, alsdann die Emissionen e_v, e_{v+h} und zuletzt e_h. Während dieser Meßreihen kontrollierte der zweite Beobachter ständig die Lage der Bogen aus den Linsenbildern und brachte vor jeder neuen Reihe den Bogen in die markierte Anfangslage zurück.

Zur Messung gelangten die p. 38 angegebenen Banden und Linien. Von den Versuchsreihen sind im folgenden zur Darstellung des Verlaufs der Messungen für jede Bande nur je zwei Reihen im Detail angegeben, von den übrigen durchaus gleichartig verlaufenen nur die Resultate.

Die besonderen Abmessungen der Anordnung sind nochmals zusammengefaßt dargestellt:

Spaltbreite für die Emissionsmessungen	0,5 mm
Höhe des Spaltes	6 „
Höhe des Spaltes in Blende B	7 „
Abstand derselben vom Spektrometerspalt	90 „
Entfernung der Bogenlampe vom Spalt	115 „

Der Spalt vor der Thermosäule ist so breit — 0,7 mm — gewählt, daß die ganzen Banden die unbedeckten Teile der wärmeempfindlichen Lötstellen treffen, da es sich bei den Messungen um die Gesamtemissionen der Banden handelte.

Die Galvanometerempfindlichkeit wurde von Fall zu Fall je nach der Intensität der Bande variiert und des öfteren nachgeprüft. Die in den nachstehenden Tabellen gebrauchten Bezeichnungen sind die früher gegebenen, außerdem treten noch die folgenden hinzu:

i_v Stromstärke der vorderen Lampe,
s_v Bogenspannung derselben,
i_h Stromstärke der hinteren Lampe,
s_h ihre Bogenspannung,
a das Absorptionsvermögen des Bogens in %.

Die Tabellen VII und VIII geben für die Banden 415, 385, 357 sowie 251 $\mu\mu$ je zwei, für 808, 275 und 313 $\mu\mu$ je eine Versuchsreihe an, Tabelle IX die Emission der Bande 251 $\mu\mu$ für die bei den Emissionsmessungen benutzte Spaltbreite von 0,5 mm und bei einer geringen Belastungsänderung. Tabelle X faßt die Resultate der sämtlichen für die Banden 415, 385, 357 und 251 $\mu\mu$ ausgeführten Versuchsreihen zusammen bezogen auf die Galvanometerempfindlichkeit $1 \cdot 10^{-10}$ A. pro Skt.

Tabelle VII.

Wellenlänge in $\mu\mu$	Empfindl. des Galvanom.	Galvanometer-Ausschläge e_v beobachtet	e_v im Mittel	e_{v+h} beobachtet	e_{v+h} im Mittel	e_h beobachtet	e_h im Mittel	i_v	s_v	i_h	s_h	α %
415	$6.53 \cdot 10^{-10}$ Amp. Skt.	78 76 77 79 75 79 78 77 —	77,4	98 96 97 99 96 103 98 99 —	98,2	23 26 24 25 23 23 22 20 —	23,2	13,5	68.0	13.0	72,0	10.2
	$3.61 \cdot 10^{-10}$ Amp./Skt.	146 137 138 137 139 145 139 138 —	139,9	176 172 178 182 175 174 179 172 —	176,0	40 41 43 38 42 44 38 39 —	40.8	14.0	67,6	13,0	72,0	11.4
385	$1.81 \cdot 10^{-9}$ Amp./Skt.	146 149 149 147 145 150 151 146 148	147,9	166 164 169 175 164 176 176 166 168	169,3	46 48 48 51 46 49 51 43 51	48,1	14,0	67,5	12,8	72,0	55.5
	$1.81 \cdot 10^{-9}$ Amp. Skt.	137 134 132 137 141 144 140 136 141	138,0	159 152 156 164 159 158 165 155 168	159,6	54 52 48 48 53 46 47 56 54	51,1	13.5	68,0	13,0	72,0	57,7
357	$2,50 \cdot 10^{-10}$ Amp./Skt.	125 124 137 129 131 130 128 129 127	128,9	183 189 191 174 178 180 184 174 188	182,3	60 58 57 56 54 59 57 63 50	57,1	13.5	68,0	13,0	72,5	6.5
	$3,06 \cdot 10^{-10}$ Amp./Skt.	105 108 104 103 104 111 104 108 109	106,2	157 150 150 160 153 151 160 170 149	155,6	51 48 54 58 50 57 53 54 50	52,8	14,0	67,0	13,0	72,5	6,4

Tabelle VIII.

Wellenlänge in $\mu\mu$	Spaltbreite in mm	Galvanometer-Ausschläge e_v beobachtet	e_v im Mittel	e_{v+h} beobachtet	e_{v+h} im Mittel	e_h beobachtet	e_h im Mittel	i_v	s_v	i_h	s_h	α %
251	1,0	35 34 36 34 40 39 34 37 34	36,0	56 58 55 52 60 63 58 59 56	57.4	28 28 25 28 25 29 33 26 26	27.2	14,0	67,5	13,0	72	21,3
		38 42 41 37 36 43 40 37 38	39,1	61 63 55 62 65 58 60 57 63	60,4	29 26 27 24 28 30 27 26 27	27,1	13,5	68,0	12,8	72,0	21,4
808	0,5	73 74 71 69 73 72 74 72 68	71,8	98 106 95 104 101 102 106 105 101	102.0	32 35 33 33 35 32 34 36 34	33,8	13,6	68.0	12,5	72,2	10,6
275	0,5	11 13 12 12 9 9 9 11 13	11,0	61 63 65 58 59 63 64 66 65	62.6	50 51 51 58 54 58 52 54 50	53.3	13,8	67,8	12.0	62	3,2
313	1,2	10 7 12 9 10 10 12 11 10	10,1	23 22 23 18 19 19 20 18 19	20,1	10 10 11 11 12 11 10 10 12	10,8	13.8	67,5	2,2	110	7.4

Betreffs der Absorptionsbestimmungen für die dem Bogen fremden Linien ist zu sagen, daß die Versuchsanordnung einige kleine Änderungen erfuhr. Für 275 $\mu\mu$ diente als zweite Lichtquelle die Bogenlampe L_h mit einer Nickelstahlkathode zur Erzielung einer genügend intensiven Linie im Ultravioletten. Bei den hierfür angestellten Vorversuchen zeigte sich, daß der Nickelstahlbogen nur dann genügend konstant und ruhig brannte, wenn nur allein die negative Kohle durch eine Nickelstahlkathode ersetzt wurde. Der Durchmesser derselben mußte der Stromstärke sehr gut angepaßt sein, — im vorliegenden Falle 13 mm bei 14 Amp. Belastung — da sie sonst entweder schmolz oder der Bogen sehr unruhig brannte. Überdies war bei der Handhabung der Lampe große Vorsicht geboten, da sie wegen der großen Emission im Ultravioletten eine sehr intensive zerstörende Wirkung auf Haut und Auge ausübte.

Die geringe Emission der Hg-Dampflampe für 313 $\mu\mu$ verlangte die Ausschaltung des Absorptionstroges D, damit L_v und L_h möglichst dicht an den Spektrometerspalt herangebracht werden konnten. Der Trog D wurde durch einen ähnlichen, zwischen Prisma und Beobachtungsrohr des Spektrometers eingeschalteten Trog ersetzt und der Spalt auf 1,2 mm erweitert.

Aus diesen beiden Versuchen für die Wellenlängen 275 und 313 $\mu\mu$ kann nur die Folgerung gezogen werden, daß die Absorption hier sehr gering ist. Den

kleinen Absorptionsbetrag mit einiger Schärfe numerisch festzulegen, dazu reicht die Genauigkeit der Versuche begreiflicherweise nicht aus.

Die in den vorgehenden Tabellen über e_v gemachten Angaben stellen noch nicht die wirklichen Emissionsverhältnisse dar, sondern erst nach Multiplikation mit dem Reduktionsfaktor R der gesamten Meßanordnung, welcher im ersten Teil der Arbeit (s. p. 36) bestimmt wurde und die Absorption in der Anordnung berücksichtigt. Die wirklichen Emissionsverhältnisse ergeben sich daher aus

$$e = R \cdot e_v$$

die nach Zugrundelegen der Strahlung von Bande 251 $\mu\mu$ als Einheit übergehen in

$$e' = \frac{(e)_\lambda}{(e)_{251}}$$

Versuchsweise wird am Schluß noch die Strahlung aus unendlich dicker Schicht berechnet. Dieselbe ist

$$e_s = \frac{e'}{\alpha}$$

und in Bezug auf die Wellenlänge 251 $\mu\mu$ als Einheit

$$e_s' = \frac{(e_s)_\lambda}{(e_s)_{251}}$$

Alle diese gefundenen und berechneten Größen faßt Tabelle XI für die Banden 415, 385, 357 und 251 $\mu\mu$ zusammen.

Tabelle IX.

Emission der Bande: 251 μμ.
Galvanometer-Empfindlichkeit: $1{,}165 \cdot 10^{-10}$ Amp./Skt.
Spaltbreite: 0,5 mm.

e_v		i_v Amp.	s_v Volt.
beobachtet	im Mittel		
22 25 29 26 29 27 25 27 26	26.2	13.8	68.0
23 23 24 22 20 22 23 21 22	22,2	13,5	68.5
22 20 23 18 19 22 20 17 21	20,2	13.2	69.0

Tabelle XI.

Stromstärke 13,8 Amp., Bogenspannung 68 Volt, Spaltbreite 0,5 mm, Bogenlampenentfernung vom Spalt 115 mm.

Wellenlänge in μμ	e_v	e	α	e′	$e_s \cdot 100$	e'_s
415	504	595	9,8	14,0	142	27.8
385	2604	3280	56,1	77,0	137	26.8
357	323	411	9,0	9,7	108	21.2
251	22,4	42,6	19,8	1,0	5,1	1,0

Tabelle X.

Wellenlänge in $\mu\mu$	e_v beobachtet	e_v im Mittel	α beobachtet	α im Mittel	i_v	s_v
415	505 519 506 500 490 —	504	10,2 11,4 9,0 10,0 8,5 —	9,8	13,8	68,0
385	2680 2890 2400 2500 2550 —	2604	55,5 57,7 56,2 57,2 54,1 —	56,1	13,8	68,0
357	334 327 322 325 310 —	323	13,5 7,6 6,5 6,4 10,5 —	9,0	13,9	68,0
251	26,2 22,2 20,2 26,5 22,0 20,6	22,4	21,3 21,4 20,0 18,1 18,6 —	19,8	13,8	68,0
808	—	—	10,6 7,0 5,0 8,3	7,7	13,8	68,0

Zusammenfassung und Folgerungen.

1. Aus den Resultaten der Tabellen X und XI läßt sich ersehen, daß die Hauptemission des Bogens bei der Bande 385 $\mu\mu$ liegt, was mit der Arbeit von Herrn Snow[1]) übereinstimmt, daß jedoch die Emissionsangabe von ihm bezüglich der Bande 357 $\mu\mu$ wegen der hier stark einsetzenden Absorption in der verwendeten Glasoptik des Spektrometers zu niedrig ausfällt.

2. Die Tabellen zeigen ferner, daß Gebiete starker Emission mit Gebieten starker Absorption zusammentreffen, und daß außerdem für solches Licht, welches nicht merkbar vom Bogen emittiert wird, auch die Absorption in den Grenzen der Versuchsfehler liegt. Hieraus folgt zunächst, daß die von Mrs. Ayrton bezüglich der Absorption im Bogen ausgesprochenen Ansichten nicht zutreffen. Dieselbe sagt nämlich[2]), der Bogen absorbiere gelb und grün selektiv, daraus erkläre sich, daß derselbe um so violetter aussehe, je länger er sei, weil die vom Krater ausgehende Strahlung durch die erwähnte selektive Absorption im Bogen derart in ihrer Zusammensetzung geändert werde, daß das Violett übrig bleibe. Hieran knüpft sie noch weitere Folgerungen.

[1]) Snow: Wied. Ann., Bd. 47, p. 208, 1892.

[2]) Mrs. Ayrton: „The electric Arc" by Mrs. Ayrton, London. The electrician printing and publishing Company. Limited. Chapter XI, p. 313, 345–362 and 388—389.

Nun zeigen die vorliegenden Versuche, daß der Bogen eine Strahlung, die er nicht emittiert, auch nicht merklich absorbiert, woraus folgt, daß die erwähnte Anschauung unrichtig ist. Um dies, da sich die Untersuchung speziell auf gelb und grün nicht erstreckte, noch besonders zu prüfen, gelangten noch einige qualitative Versuche zur Ausführung, die zunächst beschrieben werden mögen.

Auf das Objektiv des Kollimators wurde eine Gelbscheibe aufgeschoben, welche das violette Licht des Bogens völlig absorbierte. Das vom Kollimatorobjektiv ausgehende parallele Strahlenbündel fing dann ein schief zur Strahlenrichtung gestellter Schirm von weißem Kartonpapier auf und reflektierte es nach dem Beobachter. Geringe Intensitätsschwankungen des Lichtes ließ diese Anordnung gut erkennen. Die zweite Lampe kam nun so zur Aufstellung, daß ihr Kraterlicht den Bogen der vorderen Lampe durchsetzte. Man erhielt auf diese Weise einen intensiv gelben Fleck am weißen Schirm, dessen äußere Ränder eine Blende abdeckte.

Wenn der Bogen nun gelb selektiv stark absorbieren sollte, wie es nötig wäre, um das Kraterlicht in der oben angegebenen Weise in seiner Zusammensetzung zu ändern, so müßte beim Löschen der vorderen Lampe eine starke Intensitätserhöhung der gelben Strahlung eintreten trotz der Intensitätsabnahme durch Wegfall der vorderen Strahlung, da diese im Vergleich zu der im Bogen absorbierten Kraterstrahlung sehr gering ist. Nun hat beim Löschen der vorderen Lampe

nie eine derartige Zunahme des gelben Lichtes an dem Schirm beobachtet werden können. Die für grünes Licht angestellten Versuche zeitigten dasselbe Ergebnis. Die Gelbscheibe war dabei durch eine grüne ersetzt. Für das violette Licht konnte aus den gleichartig verlaufenen, qualitativen Versuchen mit einer Uviolscheibe kein Schluß gezogen werden, da hier die Emission des Bogens selbst sehr groß ist.

Aus diesen Untersuchungen geht aber mit Sicherheit hervor, daß eine größere selektive Absorption entgegen der Annahme von Mrs. Ayrton im gelb wie im grün nicht stattfindet.

3. Wenn man die Frage stellt, welche Schlüsse etwa aus dem Versuchsmaterial auf die Natur der Strahlung des Bogens gezogen werden können, so ist zunächst zu sagen: falls ein beträchtlicher Teil der vorhandenen Strahlung Temperaturstrahlung ist, wie es die sehr hohe Temperatur des Bogens sowie manche Beobachtungen [1]) nahe legen, so wird zum mindesten zu fordern sein, daß Emission und Absorption zusammengehen, d. h. daß die im Spektrum hervortretenden Emissionsgebiete auch die, und zwar die einzigen Gebiete größerer Absorption sind. Diese Forderung wird aber durch das am Anfang von 2. zusammen-

[1]) s. in der Einleitung die Zitate betreffend die qualitativen Versuche, die für Temperaturstrahlung sprechen. Hauptsächlich die Folgerungen von Kayser aus den Versuchen von Liveing und Dewar über die Selbstumkehr der Cyanbanden. Handbuch der Spektroskopie von Kayser, Bd. II, p. 155—156, sowie l. c. p. 169, Bd. II.

gefaßte Resultat voll bestätigt, wobei noch besonders darauf hinzuweisen ist, daß auch Absorptionsversuche mit der Kohlebogenstrahlung fremdem Licht zur Ausführung gelangten und mit dem allgemeinen Ergebnis in Einklang standen.

Von dieser Seite aus sind also die Tatsachen mit der Annahme, daß ein großer Teil der Strahlung Temperaturstrahlung sei, wohl vereinbar.

4. In der Literatur wird gewöhnlich unter Zusammengehen von Emission und Absorption, wie unter 3. erwähnt, verstanden, daß die im Spektrum hervortretenden Emissionsgebiete auch die, und zwar die einzigen Gebiete größerer Absorption sind. Was man hierbei als größere Absorption betrachten soll, läßt sich nur dann sagen, wenn der Entscheid über große oder kleine Emission nicht unter Vergleich mit den übrigen Teilen des Spektrums des betreffenden Strahlers, sondern unter einem solchen mit dem entsprechenden Gebiet des absolut schwarzen Körpers gefällt wird.

Auch dieser schärfer formulierten Forderung für die Temperaturstrahlung genügen die Versuche. Von den gemessenen 4 Banden liefern 385 und 357 $\mu\mu$ größere Genauigkeit wegen der dort vorhandenen großen Absorptionswerte von 56 und 20 Prozent. Für die Banden 415 und 357 sind die Werte der Absorption wegen der auf ihre relativ kleinen Werte prozentisch stärker wirkenden Beobachtungsfehler und der oben erwähnten Störungen durch Bande 385 unsicherer. Weitere Banden heranzuziehen ist zur Zeit nicht mög-

lich, weil der Kohlebogen im Ultravioletten keine anderen von genügender Stärke besitzt und Bogen mit Elektroden aus anderem Material sich jetzt noch nicht genügend ruhig brennen lassen.

Bildet man nun demgemäß für 385 und 251 durch Division der gemessenen Emissionen mit den Absorptionen die Strahlungen unendlich dicker Schichten, so verhalten sich diese (s. Tab. XI) wie 26,8 : 1. Die Temperatur, bei welcher der absolut schwarze Körper das nämliche Verhältnis 26,8 : 1 für die beiden Wellenlängen liefert, berechnet sich aus dem Strahlungsgesetz

$$e_s = \frac{c_1}{\lambda^5} \cdot e^{-\frac{c_2}{\lambda T}}$$

wobei $c_2 = 1{,}46$ und λ in cm

zu 3800° C. Im Gebiet dieser Temperaturen liegen nun nach den darüber in der Literatur vorliegenden Messungen die Bogentemperaturen. Daraus folgt, daß die Bogenstrahlung weit hinaus über die rohe Forderung von 3. sich der Temperaturstrahlung auch quantitativ vergleichbar erweist. Es mag hinzugefügt werden, daß die unsicheren Werte für die Banden 415 und 357 nicht etwa im Widerspruch hierzu stehen; sie führen unter Vergleich mit 251 zu knapp 4000° und 3600° C.

Um die Bogenstrahlung in aller Schärfe mit der Normalstrahlung vergleichen zu können, müßten die Verhältnisse der richtigen Emissionen und Absorptionen gebildet werden. Dies würde eine Auskalibrierung der Banden in alle Einzelheiten erfordern, eine zur Zeit

unlösbare Aufgabe. Aber es ist anderweit auch nicht ausgeschlossen, daß die gemessenen Banden eine Konstitution haben, welche für die hier bestimmten Strahlungen unendlich dicker Schichten den richtigen sich annähernde oder eventuell auch ihnen gleiche Verhältnisse liefert. Dahin deutet das Zusammenstimmen der oben berechneten Temperatur von 3800° C. mit den anderweit bestimmten Bogentemperaturen. Dies Resultat ist bemerkenswert genug, um eine Anregung dafür zu geben, ein ruhiges Brennen von anderen Bogen, welche mehr geeignete Emissionsstellen liefern, anzustreben und diese in ähnlicher Weise zu untersuchen, wie es hier mit dem Kohlebogen geschehen ist.

Jedenfalls wird man aus dem Gesamtergebnis der Beobachtungen, die als ein erster Versuch in einem experimentell schwer schärfer quantitativ faßbaren Gebiet zu betrachten sind, den Schluß ziehen dürfen, daß durch dieselben die Wahrscheinlichkeit für die Ansicht, daß die Strahlung des Bogens zum wesentlichen Teil Temperaturstrahlung ist, eine weitere Stütze erhält.

Nachtrag.

Im Anschluß an die Emissions- und Absorptionsmessungen gelangten noch einige Versuche zur Ausführung, welche zeigen sollten, inwieweit die lichtelektrischen Messungen von Herrn R. Lindemann über den Kohlebogen für den vorliegenden Zweck

verwendbar sind. Dies forderte eine Untersuchung über den Sitz des lichtelektrisch wirksamen Teils der Bogenstrahlung auf die in der Arbeit benutzten amalgamierten, gealterten Zinkplatten. Die Messungen wurden mit einer anderweitig aufgestellten, fertigen Versuchsanordnung ausgeführt. Statt der gealterten, amalgamierten Zinkplatten diente als Empfänger eine frisch mit Glaspulver geputzte Zinkplatte. Dies hat allerdings eine kleine Verschiebung der lichtelektrischen Wirkung im Sinne der wachsenden Wellenlänge zur Folge.

Zuerst geschahen die Versuche zur Bestimmung der lichtelektrischen Wirksamkeit des Bogens von dem sie auslösenden Spektralbereich durch Abgrenzung gewisser Spektralbezirke mittels geeigneter Absorptionsplatten.

Hierbei ließ zunächst die außerordentlich große Intensität der Bande 385 vermuten, daß sie einen wesentlichen Beitrag zur lichtelektrisch wirksamen Strahlung des Bogens liefere. Es zeigte sich aber, daß bei Einschaltung einer Glas- bezüglich sehr dünnen Glimmerplatte in den Strahlengang der Bogenlampe, welche die von 251 und 221 $\mu\mu$ herrührenden Strahlen völlig, die der Banden 385 und 357 zwar auch etwas, aber nur wenig absorbierte, die lichtelektrische Wirkung fast völlig ausblieb, so daß zu ersehen ist, daß die Banden 385 und 357 trotz ihrer großen Energie keine nennenswerte lichtelektrische Wirkung auslösen. Schaltete man einen Trog mit gewöhnlichem Leitungswasser in den Strahlengang ein, der 221 $\mu\mu$ fast ganz,

251 ungefähr zur Hälfte absorbierte, so ging die lichtelektrische Wirkung auf einen kleinen Bruchteil des Wertes zurück, welchen der Trog bei Füllung mit destilliertem Wasser ergab, welches die Banden 251 und 221 verhältnismäßig wenig schwächt. Diese Messungen lassen erkennen, daß die lichtelektrische Wirkung ihrem Hauptbetrag nach von Wellenlängen jenseits 251 $\mu\mu$ ausgeht. Dies ist inzwischen durch die Untersuchungen von Herrn Erich Ladenburg[1]) genau nachgewiesen worden, welcher für Zink das Verhältnis

$$\frac{\text{lichtelektrische Wirkung}}{\text{Wärmeenergie}}$$

in seiner Abhängigkeit von der Wellenlänge des auslösenden Lichtes bestimmte und aus dessen Messungen sich für das Verhältnis dieses Quotienten für die Wellenlängen 251 und 221 $\mu\mu$ der Wert 8,09 berechnete.

Zur weiteren Prüfung der vorgehenden Versuche gelangten noch einige mit spektral zerlegtem Lichte zur Ausführung. Mit Hilfe eines provisorisch zusammengestellten ultravioletten Spektrometers wurde die lichtelektrische Zelle einmal mit den Strahlen der Banden 385 und 357 gemeinschaftlich belichtet, — die Wirkung war sehr gering, in 2 Minuten 2 Skalenteile Ausschlag am Elektrometer — alsdann mit dem Spektralgebiete von 251 $\mu\mu$ bis 221 hin. Der Elektrometerausschlag war jetzt in 2 Minuten 73 Skalenteile, also sehr groß

[1]) E. Ladenburg: Phys. Z. 1907, p. 590 — 594.

gegenüber dem für die Banden 385 und 357. Diese mit spektral zerlegtem Lichte ausgeführten Messungen lassen mithin ebenfalls erkennen, daß die lichtelektrische Wirkung des Bogens von der starken Bande 385 sowie 357 fast unabhängig ist.

Die erwähnten Versuche, einschließlich derjenigen des Herrn Ladenburg, zeigen, da der Kohlebogen im äußersten Ultraviolett nur die eine intensive Bande 221 besitzt, daß derselbe für lichtelektrische Untersuchungen mit Schwermetallen einer monochromatischen Lichtquelle nahekommt. Dadurch findet das von Herrn Lindemann[1]) gefundene Resultat seine Erklärung, nach welchem die Beziehung zwischen Lichtstärke des Kohlebogens und lichtelektrischer Empfindlichkeit in den von ihm untersuchten Fällen unabhängig vom angewendeten Material und den eventuell vorgeschalteten lichtabsorbierenden Platten ist.

[1]) Lindemann: l. c. p. 822 und 823.

Die vorliegende Arbeit wurde im physikalischen Institut der Technischen Hochschule zu Dresden angefertigt. Es obliegt mir noch die angenehme Pflicht, meinem hochverehrten Lehrer, Herrn Geheimrat Prof. Dr. W. Hallwachs für die Anregung zur vorliegenden Arbeit sowie für die wertvollen Unterstützungen bei der Anfertigung meinen herzlichsten Dank auszusprechen.

Herrn Prof. Dr. Heydweiler bin ich für die gütige Übernahme des Referates sowie Ratschläge bei der Drucklegung zu Dank verpflichtet.

Lebenslauf.

Ich, Martin Rosenmüller, wurde am 17. April 1882 als Sohn des Fabrikanten und Optikers Georg Rosenmüller zu Dresden geboren. Meinen ersten Unterricht erhielt ich an einer Bürgerschule meiner Vaterstadt. Zu Ostern 1892 trat ich in die Sexta der Dreikönigsschule zu Dresden ein und verließ diese Anstalt Ostern 1898 mit dem Zeugnis für Obersekunda. Nach 2 Jahren praktischer Lehrzeit in meines Vaters Betriebe bezog ich Ostern 1900 die Kgl. Gewerbe-Akademie zu Chemnitz und verließ dieselbe Ostern 1904 mit dem Absolutorialzeugnis.

1904/05 genügte ich in Dresden meiner Militärpflicht und setzte von Wintersemester 1904/05 meine Studien an der allgemeinen Abteilung der Kgl. Sächs. Technischen Hochschule zu Dresden fort. Hier hörte ich u. a. die Vorlesungen der Professoren Hallwachs, Helm, Hempel, Krause, Schultze, Förster, Disteli, Toepler. Im letzten Jahre beteiligte ich mich an der gestellten Preisaufgabe der Abteilung und erhielt den ersten Preis. Seit Sommersemester 1908 liege ich den Studien an der Landesuniversität zu Rostock ob und bin hier bei Herrn Professor Heydweiller als Volontärassistent tätig.